

MIÉRT NINCSENEK AKTÍV, OLDÓDÁSOS (DRAWDOWN) DOLINÁK A DUNÁNTÚLI-KÖZÉPHEGYSÉGBEN?

UNGER ZOLTÁN – VERESS MÁRTON

WHY ARE THERE NO ACTIVE, DRAWDOWN DOLINES
IN THE TRANSDANUBIAN MOUNTAINS?

Abstract

We analyse the relationship between epikarst development and surface formations in karst areas in order to interpret the reasons for the lack of drawdown dolines in the Transdanubian Range. For this purpose, we compare the average specific resistivities of the bedrock – acquired by VES (Vertical Electric Sounding) measurements – of the karst areas included in the study. It can be seen that in Bakonyvidék, where there are no dissolution dolines, the resistivities in the bedrock are small and this indicating a water-rich epikarst (or higher water level). While in the other karst areas studied, where there are dissolution dolines, the resistivities are higher and therefore the epikarst is poor in water (or the water level is deeper). At low resistivities, where the piezometric surface is high, the epikarst is undeveloped, which is not in favour of doline formation. At high resistivities, the piezometric surface is deeper (the karst dissolution depths do not reach the aqueous part of the epikarst), so the epikarst is developed, which facilitates the formation of dissolution dolines.

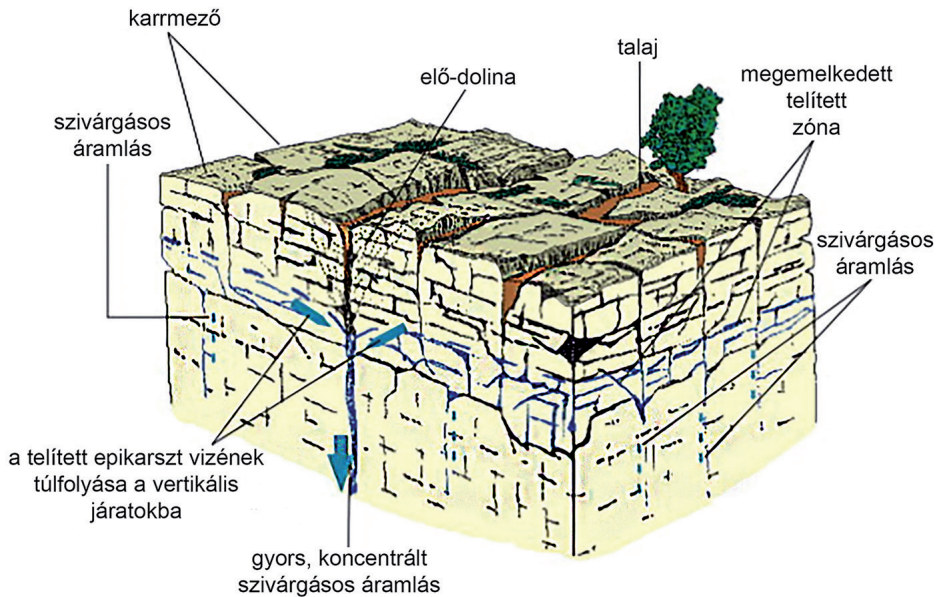
Keywords: VES measurement, epikarst, piezometric surface, drawdown doline

Bevezetés

Ebben a tanulmányban vizsgáljuk és összehasonlítjuk a Bakonyvidék és néhány más karszterület fekvésének ellenállásait a célból, hogy a különböző fejlettségű epikarsztnak az oldódásos (drawdown) dolinák képződésére gyakorolt hatását elemezzük.

Az epikarszt a karszt felső, felszíni és felszínközeli része (BAKALOWITZ, M. et al. 1974, MANGIN, A. 1975, WILLIAMS, P.W. 1983, 1985, JONES, W.K. 2013, DE WHALE, J. – GUTIÉREZ, G. 2022, *l. ábra*), ahol a másodlagos porozitás eléri a 10-20%-ot (WILLIAMS, P.W. 2008). A másodlagos porozitást a felszínen karrok, valamint a kőzetben törések és réteglapok mentén létrejött üregek képezik. Vastagságát 10-től 30 m-ig adják meg (AL-FARES, W. et al. 2002, WILLIAMS, P.W. 2004, DE WHAELE, J. – GUTIÉREZ, G. 2022). Miután a telítődési szint alatt az üregesedés lecsökken, az epikarsztból származó, illetve a beszívárgott víz visszaduzzad és ennek felülete lesz a piezometrikus szint (JONES, W.K. 2013, BAKALOWITZ, M. 2019). Az epikarszt vizét az átharántoló járatok, aknák, a vadózus zónába vezetik.

Az oldódásos dolinák, amelyek a talajos karszt legelterjedtebb formái, ott jönnek létre, ahol a felszínről az anyagelszállítás oldat formájában lokálisan megnő. Ez a megnövekedett oldóképességhez és vízmennyiséghez köthető. A dolinák lehetnek point recharge dolinák, inception dolinák és drawdown dolinák (FORD, P.C. – WILLIAMS, P.W. 2007, SAURO, U. 2012). A point recharge dolinák átöröklődéses völgyek talpán alakulnak ki, amelyek a magyar karsztos irodalomban használt víznyelődolina megnevezésnek felelnek meg (HEVESI A. 1980), míg az inception dolinák felszín közeli vízzáró betelepülések felett képződnek. A drawdown dolinák, amelyek a leggyakoribb oldódásos dolinák, kialakulása az epikarszthoz kapcsolódik (WILLIAMS, P.W. 2008). Az epikarsztba bejutó víz hasadékkarrok alatt járatokat fejleszt. Közülük a legfejlettebb alatt a gyors vízvezetés miatt a piezometrikus felszín besüllyed. Oldalról, ahol a piezometrikus felszín magasabb

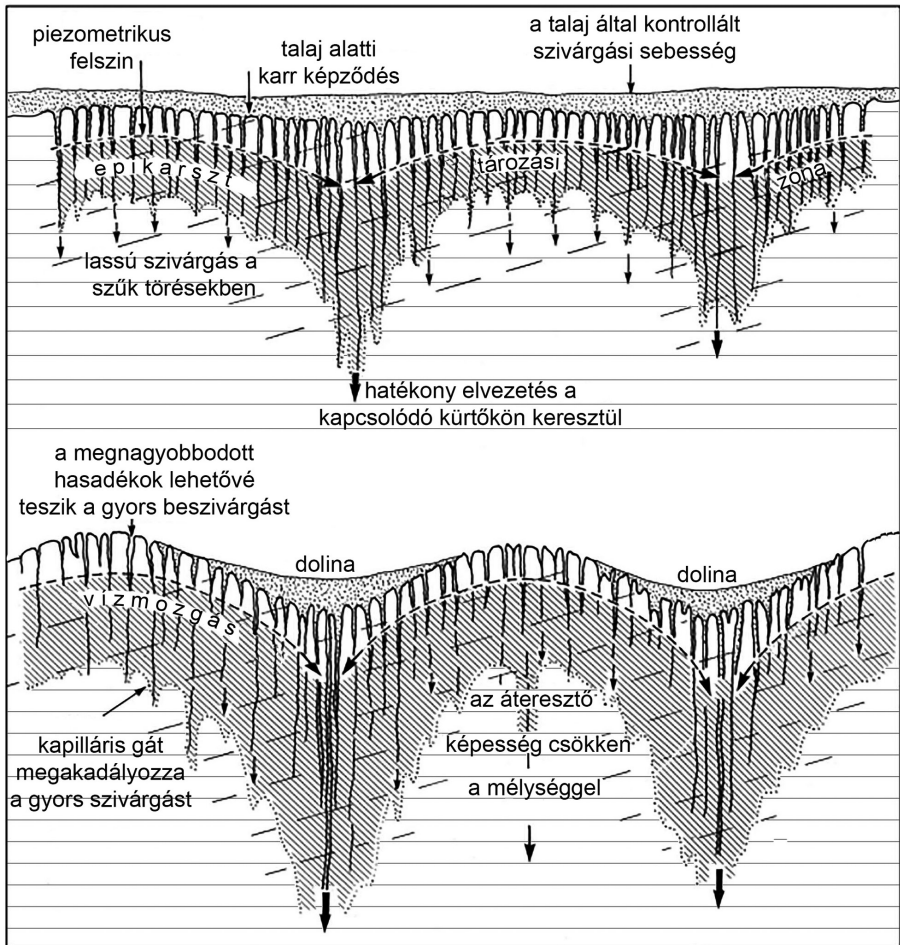


1. ábra Az epikarszt (Bakalowitz, M. [2019] nyomán)
 Figure 1 The epikarst (after Bakalowitz, M. [2019])

helyzetű, a víz ideáramlik. (Az áramlás mentén újabb járatok is kialakulhatnak.) A felszínről befolyó víz a járatnál összefolyik, ezért a felszín itt mélyül leginkább. Mivel az elvezetőhöz mellékágak csatlakoznak a vízvezetés és így a piezometrikus felszín besüllyedése a főág mentén egyre erőteljesebb (SAURO, U. 2012). Pozitív visszacsatolás lép fel: a több víz miatt a járat növekedés és így a legmélyebb pontnál a mélyülés gyorsabb lesz, a felszínen mélyedés fejlődik ki, ami miatt még több víz áramlik a legmélyebb pontra (2. ábra).

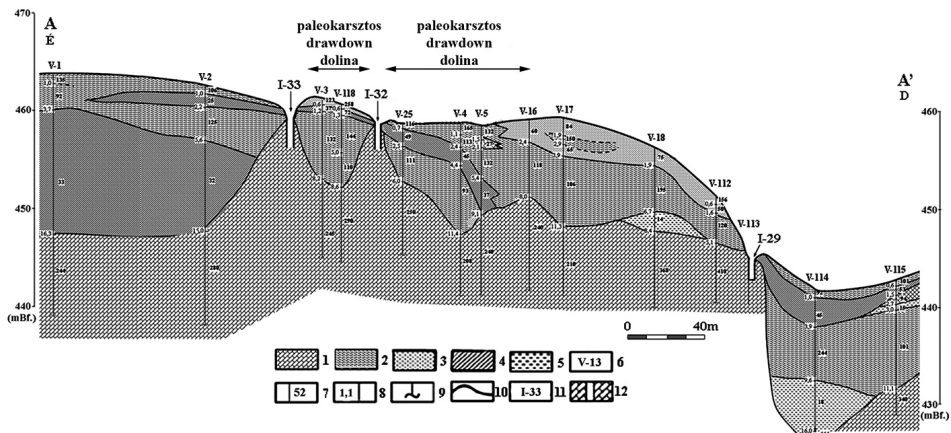
A magyarországi karsztokat dunántúli és aggteleki típusba (jellegű) sorolták (LEÉL-ŐSSY S. 1959, JAKUCS L. 1977, HEVESI A. 1991a, 1991b). Előbbiekbe a Dunántúli-középhegység, utóbbiakba a Bükk-hegység és az Aggteleki-karszt karsztja, a Dunántúlon elhelyezkedő Nyugat-Mecseki karszt és a Villányi-hegység tartozik. A két típus karsztosodása és formakincse számottevően különbözik egymástól annak ellenére, hogy felépítésük hasonló, távolságuk egymástól kicsi. Az aggteleki karsztok formakincse megegyezik más mérsékeltví talajos karsztok formakincsével, ahol is a karsztosodás intenzív és területükön elterjedtek az oldódásos dolinák. A dunántúli típusú karsztok karsztosodási intenzitása (eltételezve a hypogén ágak menti karsztosodástól) kicsi és az oldódásos dolinák hiányoznak.

A dunántúli típusú karsztokon talajos és fedett karsztok fordulnak elő (VERESS M. 2022). Ahol a fedő vízáteresztő (pl. lösz), utánsüllyedéses dolinák (főleg szuffúziós dolinák) fordulnak elő, főleg a Bakonyvidéken, kisebb részben a Gerecsében és a Vértes-hegységben), de ezek száma és mérete nem jelentős. Az utánsüllyedéses dolinák alatt a fekvő nincs depresszió, de a fekvő a vadózus zónába lenyúló akna van (3. ábra). A depresszió a fedő anyagának a karsztba szállítása során jön létre. A hegységben említhető néhány szakadék dolina (bakonyi Tapolcai-karszt, és Vértes), valamint ugyancsak kis számban átöröklődéses dolinák (a Kab-hegy bazaltján).



2. ábra Epikarszt és a dolinaképződés kapcsolata (WILLIAMS, P.W. [2008] nyomán)
 Figure 2 The relationship between epikarst and doline generation (after WILLIAMS, P.W. [2008])

A két típus eltéréseinek okára különböző magyarázatok születtek. Így LEÉL-ŐSSY S. (1959) szerint a hegység törések, vetők mentén aprólékosan feldarabolódott és ezért csak kis kiterjedésű fennsíkok vannak, amelyek nem kedveznek a karsztosodásnak. HEVESI A. (1991a) szerint a kis kiterjedésű rögökön nem jöhetett létre völgyhálózat az egykori fedőn, ami az átörklődéshez kapcsolódó karsztosodásnak kedvezhetett volna. LÁNG S. (1958) szerint a hegység fiatal kiemelkedése miatt a fedő késői lepusztulása csak rövid idejű karsztosodást tett lehetővé és ezért a karsztosodás kezdeti stádiumban van. JAKUCS L. (1977) szerint a hegység eltemetődése a karsztosodás folyamatát megszakította, a fedő karsztos kőzetfelszínek karsztosodási folyamatai ezért a mélyebb helyzetű paleokarsztos formákhoz nem kapcsolódhattak és így a különböző idejű karsztosodási folyamatok elszigetelődtek egymástól, a jelenlegi karsztosodás nem a múltbeli hatások összege. Ezek a magyarázatok akár együtt is indokul szolgálnak a karsztosodás kicsi mértékére (és így a formák kis méretére is), de nem adnak magyarázatot az oldódásos dolinák hiányára. Ugyanis kisméretű drawdown dolinának a rövid karsztosodási idő ellenére is lenniük kellene, mint ahogy



3. ábra Kicsi ellenállások drawdown dolina nélküli szelvény mentén (Tábla-völgy, Tési-fennsík, Bakonyvidék, VERESS M. [2012] nyomán)

Jelmagyarázat: 1. mészkő, 2. mészkőtörmelék (agyagos), 3. lösz (homokos, vagy mészkőtörmelékes) 4. lösz (agyagos-iszapos), vagy mészkőtörmelékes agyag, 5. agyag, 6. VESZ mérés helye és száma, 7. összlet fajlagos geoelektromos ellenállása (Ohmm), 8. geoelektromos összlet talpmélysége (m), 9. VESZ mérés körülbelüli behatolása, 10. geoelektromos összlethatár, 11. szuffúziós dolina és jele 12. akna

Figure 3 Low resistivity profile without drawdown dolines

(Tábla Valley, Tési Plateau, Bakony Region after VERESS M. [2012])

Legend: 1. limestone, 2. limestone debris (argillaceous), 3. loess (sandy or limy debris), 4. loess (argillaceous-silty), 5. shale, 6. VES profile and its location, 7. specific geoelectric resistivity of the sequence (Ohmm), 8. the measured sequence depth, (m), 8. the aproximated penetration depth of the geoelectric measurement, 10. the limit of the measured sequence, 11. suffusion dolina and its sign, 12. shaft

más karsztformák (karrok) már kialakultak. VERESS M. (2022) szerint a talajos karsztos, nem fedett karsztos területek kis kiterjedésük, lokalizáltak, felszínük dőlése nagy. Utóbbi kedvez a felszíni vízfolyásnak, de nem kedvez a beszivárgásnak, ami az oldódásos dolinák kialakulásához szükséges feltétel. De a dolomit elterjedése sem, miután e kőzetben nincs, vagy gyengén fejlett, illetve korlátozott kiterjedésű az epikarszt (VERESS M. 2023). A fedett területeken viszont a körülmények az utánsüllyedéses dolinák képződésének kedveztek.

A Dunántúli-középhegységben csak a Bakonyvidéken fordul elő néhány olyan depresszió, amely oldódásos dolinának tekinthető. Néhány ilyen depresszió említendő a Tapolcai karsztról (Zalalhaláp közelében), Devecser környékéről és a Kőris-hegyről egyetlen depresszió, amely az Eleven-Förtés utánsüllyedéses dolinacsoportot hordozza (VERESS M. 2022). Ezek a depressziók nem aktív karsztformák erre utal pl. kicsi mélységük is és feltöltődtek fedőüledékekkel, amelyben utánsüllyedéses dolinák is kialakulhattak. A vizsgálatainkban használt VESZ (Vertikális Elektromos Szondázás) szelvények azt is mutatják, hogy több helyen vannak a fedő által kitöltött és elfedett depressziók, amelyek paleokarsztos nem aktív, oldódásos (drawdown) dolinák (Eleven-Förtési dolinacsoport, Tési-fennsík, 3. ábra).

A területek jellemzése

Az Aggteleki karsztot gipszes-anhidrites, valamint triász karbonátos kőzetek építik fel, amelyek takarórendszerként képeznek (KERCSMÁR Zs. et al. 2022). A karszt fennsíkokra tagolódnak, amelyeket völgyek különítenek el egymástól. Felszíni karsztformái közt említhetők a vakvölgyes ponorok, a völgytalpi oldódásos dolinák sorai, a tetőhelyzetű oldódásos dolinák, uvalák, uvalarendszerek. Itt a drawdown dolinák sűrűsége, amely közel

hasonló a többi ilyen formakincsű karszt dolina sűrűségével 9,71 darab/km² (TELBISZ T. 2001). Innen egy szelvény adatait vettük figyelembe, amely uvalát alkotó töbör soron van. A töbör sor talajos karszton alakult ki, az Aggteleki-fennsíkban a Hideg-völgy területén.

Bakonyvidék a Dunántúli-középhegység legnagyobb kiterjedésű része. Főleg triász dolomitból épül fel, amelyet kisebb-nagyobb foltokban fednek jura, kréta és eocén mészkövek (KERCSMÁR Zs. et al. 2022). A karbonátos térszint több helyen is a Csatkai Kavics Formáció nagy kiterjedésű foltjai fedik, de nagy kiterjedésben fordul elő lösz és ennek agyagos változatai. Utóbbiak karsztformái az utánsüllyedéses (szuffóziós) dolinák. A Bakonyvidéken három fedett karsztos foltjának az elektromos ellenállásait vizsgáltuk. A Tábla-völgy és környékének VESz szelvényei a Tési-fennsík K-i részén vannak. A Mester-Hajag Északi terület a Hajag csoport egyik rögén a Mester Hajagon, míg az Eleven-Förtési dolinacsoport a Kőrös-hegyen van. A Tábla-völgy és az Eleven-Förtési dolinacsoport területe jura mészkőből, az Mesterhajag-hegy É-i területe kréta mészkőből épül fel.

A Hochschwab az Északi-Mészkő-Alpok része, amely perm homokkőből alsó és középső triász mészkővekből épül fel. Glaciokarsztokon elterjedtek a paleodolinák. E formák több száz méteres átmérőjük is lehetnek. Talpukat többnyire fedő béleli ki, amelyen utánsüllyedéses dolinák fordulhatnak elő. A szelvényeket egy ilyen nagyméretű depresszióban vettük fel.

A Pádis a Bihar-hegység (Erdélyi-Szigethegység, Románia) központi részét alkotja. Aljzatát metamorf kőzetek képezik, amelyre triász és jura mészkövek, dolomitok települnek, a peremeken permi homokkővel (BLEAHU, M. 1976). E karbonátok két szintre különülnek: a felsőt magaslatok-, az alsót a magaslatok közötti közel sík, talajos és fedett karsztos térszínnek alkotják. A sík térszínnek többnyire lefolyástalanok. Az oldódásos dolinák mind a felső, mind az alsó szinten kifejlődtek, melyek gyakran összekapcsolódnak egymással. A karsztos depressziókban, miután a homokkőves térszínről származó vízfolyások homokkő törmelékkel kibélelték, fedett karsztos foltok vannak, sok utánsüllyedéses dolinával. A szelvényeket, amelyek adatait alább bemutatjuk egy ilyen alacsony lefolyástalan térszín fedett karsztján (Răchite) és mellette egy átöröklődéses völgy fedett talpán alakítottuk ki.

A Nyugat-Mecseki karszt alsó- és középső triász mészkőből épül fel, amelyet D-ről dolomit és homokkő határol. A karszt É-i irányba dől, felszínét lösz fedi. Számos, sorokat alkotó oldódásos dolina van ezen a karszton és nagyon sok utánsüllyedéses (főleg szuffóziós) dolina. Utóbbiak előfordulnak az oldódásos dolinákban, de azokon kívül is. E karszterület feltűnő sajátossága, az utánsüllyedéses dolinák nagy sűrűsége. A dolinasűrűség (az oldódásos dolinákkal együtt), LIPPMANN L. et al. (2008) szerint elérheti a 80 db/km²-t.

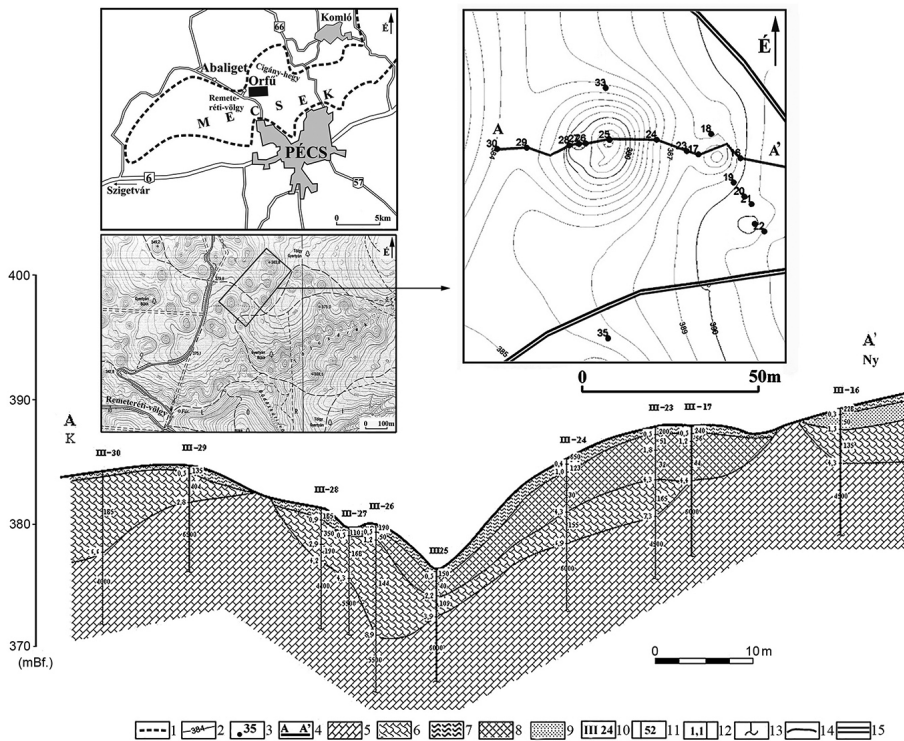
A Totes Gebirge triász-, nyugati részén jura mészkővekből épül fel, a triász kőzetekben kova betelepülésekkel. Itt glaciokarszt található, gyakoriak a paleodepressziók, a ponorok és a karrok (PLAN, L. et al. 2009). Előzőek mészkőtörmelékkel és kovatörmelékkel, mállási maradékkal vannak kibélelve. A fedett karsztos foltokon gyakoriak az utánsüllyedéses dolinák, a foltok pereménél a ponorok. Innen azon szelvények adatait közöljük, amelyek a Tauplitzalmhoz közel a Tragl-csúcs alatt, egy paleodolina talpán alakítottunk ki.

Módszerek

Különböző karszterületek fedett karsztjain (az Aggteleki-karszt Hideg-völgyi területe azonban talajos karszt), szelvények mentén VESZ méréseket végeztettünk a Terratest Kft-vel (a VESZ mérés leírása megtalálható VERESS M. 2009 munkájában). Az egyes szelvények mentén mért fekvő fajlagos ellenállásainak az átlagát képeztük. A szelvényekről leolvastuk a fekvő felszínéhez képesti VESZ mérések behatolási mélységét.

A különböző kőzeteknek igen változatos fajlagos ellenállásuk van. Általában a lazább szövetűeknél kisebb, a tömörebbeknél nagyobb. Miután VESz mérési adatainkat mészkövekre kaptuk ezért e kőzet ellenállására fókuszálunk. A nagy másodlagos porozitású mészköveknek 200–700 Ohmm, míg a tömör mészköveké 700 Ohmm feletti (CsóKAs et al. 1968). RENNER et al. (1970) szerint a harmadkorú kicsi elsődleges porozitású mészköveké 100–1000 Ohmm, míg az idősebb és tömött mészköveké 100–5000 Ohmm. Az ellenállások tág határok közötti szóródását számos tényezőtől függ, így a víztartalomtól és az elsődleges és másodlagos porozitástól.

A fajlagos ellenállások átlagait szelvényenként, szelvénycsoportonként, területenként hasonlítottuk össze. Szelvényenkénti összehasonlítás történt a Nyugat-Mecseki karszton is. Itt az oldódásos dolinák középső részére eső szelvényt szakaszok ellenállás átlagait hasonlítottuk össze a dolinák peremén lévő szelvényt szakaszok ellenállás átlagaival (4. ábra). Szelvénycsoportonként összehasonlítást végeztünk a Nyugat-Mecseki karszton és a Pádison is. Előző karszton az oldódásos dolinák (dolina középső részének, ill. a dolina egészének ellenállása) ellenállás átlagait hasonlítottuk össze a dolinákon kívül



4. ábra A Nyugat-Mecseki karszt egy drawdown dolinájának szelvénymenti fajlagos ellenállásai

Jelmagyarázat: 1. hegység határa, 2. szintvonal, 3. kőzetkibúvás, 4. szelvény nyomvonala, 5. mészkő,

6. mészkőtörmelék (homokos?), 7. homok, homokliszt, 8. agyag (mészkőtörmelékes, agyagos),

9. homok-löss (mészkőtörmelékes), 10. VESz mérés és helye és száma, 11. összlet fajlagos geoelektromos ellenállása (Ohmm),

12. geoelektromos összlet talpmélysége, 13. VESz mérés körülbelüli behatolása, 14. geoelektromos összlethatár

Figure 4 The specific resistivity values along a profile with drawdown doline from Western Mecsek Karst area

Legend: 1. location and the limits of the Mecsek Mountain, 2. isolines, 3. outcrop, 4. profile location, 5. limestone,

6. limestone debris (sandy?), 7. sand, sandy silt, 8. shale (limy debris, argillaceous), 9. sand-loess (with limy debris),

10. VES profiles location, 11. resistivity of the sequence (Ohmm), 12. the depth of the measured profile,

13. penetration of the VES measurement, 14. sequence limit of the geoelectric measurements

eső szelvények, vagy szelvény részek ellenállás átlagaival. A Pádison a Rächite belsejében kialakított két szelvénycsoport ellenállásait hasonlítottuk össze egymással és a fenti depresszió kívüli szelvények fekü ellenállásainak átlagával. (A Rächite szelvénycsoportjainál az egyikhez olyan szelvények tartoznak, amelyeknél a fekül nincs depresszió, a másokhoz olyanok, ahol van depresszió.)

A területenkénti vizsgálatnál összehasonlítottuk a Bakonyvidéki mérések fajlagos átlagos ellenállásait a Nyugat-Mecseki karszt dolináinak átlagos ellenállásaival, valamint az összes drawdown dolinás (Pádis, Aggtelek, Nyugat-Mecsek, Hochschwab, Totes Gebirge) karsztterület depresszióban lévő szelvények fajlagos ellenállás átlagaival.

A dawndown dolinák és utánsüllyedéses dolinák és környezetük (a Pádison és Nyugat-Mecseki karszton) az ellenállás szignifikanciáját vizsgáltuk *t*-próbbával. A *t*-próbbához használt ellenállásokat az *1. táblázat*ban adjuk meg.

1. táblázat – Table 1

Ellenállások a Nyugat-Mecsek és a Pádis drawdown dolinái
és az utánsüllyedéses dolináinál
Resistivity values at the drawdown dolines and subsidence dolines of
Western Mecsek and Pádis

hely	dolinatípus és szelvény azonosítója	ellenállás
Nyugat-Mecsek	drawdown (C-1) dolina	6000, 5500, 6000, 5500, 5500, 3000, 5000, 4000, 5500, 3500, 4000
	utánsüllyedéses dolina (D-D', E-E')	4300, 4000, 3200, 4000, 4500, 3000, 4200, 5500, 5000, 4100
Pádis	drawdown dolina (I-I')	12 000, 12 500, 13 000, 11 300, 11 100, 12 200, 11 800, 11 500, 17 300, 11 400, 11 100, 11 300, 11 200, 10 500, 11 100
	utánsüllyedéses doliona (A-A', B-B')	9200, 822, 7600, 7600, 8500, 9100, 8200, 8700

A hasonló esetszám érdekében a drawdown dolinák szelvényeinél csak egyet-egyet használtunk fel.

A *t*-próbbához felhasznált adatsorból a többi adathoz képest erősen eltérő 3 adat kimaradt. Ezek a következők: C-1 szelvény 2500 Ohmm, D–D' 160 Ohmm, az I–I' szelvénynél 17300 Ohm ellenállás.

Eredmények

A szelvények ellenállását a 2. táblázatban mutatjuk be. Megállapítható, hogy a különböző karsztterületeken, ill. az oldódásos dolinákban és környezetükben az ellenállás átlagok eltérőek, bár karsztterületen belül is lehetnek kisebb eltérések.

A szelvénycsoportonkénti összehasonlításnál Nyugat-Mecseki karszton a dolina belseji és peremi fajlagos ellenállás átlagok különböznek (4340,00 ill. 3818,45 Ohmm), de ugyancsak különböznek a dolinák területeinek átlagos ellenállásai a dolinákon kívüliektől (4340,00 ill. 3442,27 Ohmm). A dolinákban az ellenállások nagyobbak, külső részükön kisebbek. Az oldódásos dolinák ellenállásának összegzett átlaga meghaladja az azokon kívüli átlagos ellenállásokat (*2. táblázat*).

Ellenállás értékek a fekében
Resistivity values in the bedrock

terület	figyelembe vett szelvények száma (db)	ha a szelvény depresszió ment keresztül azok száma	VESZ mérés száma (db)	mérés behatolása a fekébe (m) (átlag)	a feké felszínéhez képest	átlagos fajlagos ellenállás (Ohmm)	szelvény helye
Bakony Tési-fennsík K-i része	14	–	104	3,00–10,00	315,00	többnyire völgytalpon	
Bakony, Eleven-Förtés	10	1	68	5,00–7,00	611,00	nem aktív depresszió, területén utánsüllyedéses dolinák	
Bakony Mester-Hajag E-i része	18		137	3,00–8,00	1273,00	magaslatokkal közrefogott terület utánsüllyedéses dolinákkal	
összeg és átlag	42		309	–	733,00		
Erdélyi-Szigethegy-ség, Pádis Răchite (Románia)	3	12	45	4,55–8,58	10910,67	magaslatokkal közrefogott zárt terület a feké eltemetett recens depressziók, felszínén utánsüllyedéses dolinákkal	
Erdélyi-Szigethegy-ség, Pádis Răchite (Románia)	5	12	34	4,76–6,96	10335,83	magaslatokkal közrefogott zárt terület, feké sík, felszínen utánsüllyedéses dolinákkal	
Răchiténél az összeg és átlag	8		80	–	10623,25		
Aggteleki-karszt, Hideg-völgy	1	2	6	4,40–5,40	5220,00	oldódás dolinák (talajos karszt), recens	
Răchite melletti terület	2	–	8	2,49–6,37	8387,50	fedett karszt, utánsüllyedéses dolinákkal	
Mecseki karszton az oldásos dolinák	42	42	40	5,16–6,56	4340,00	drawdown dolinában utánsüllyedéses dolinák	
A fentiből a Mecseki karszton az oldásos dolinák pereme	42	42	19	5,61–7,12	3818,45	drawdown dolinában utánsüllyedéses dolinák	
Mecseki karszton az oldásos dolináknál	4	4	40	–	4340,00		
összeg és átlag							
Mecseki karszt oldásos dolinákon kívül	2		11	4,70–6,20	3442,27	utánsüllyedéses dolinák	
Hochswab	3	1	19	5,39–11,54	5258,98	nagyméretű paleo depresszió, fedett karsztos, utánsüllyedéses dolinákkal	
Totes Gebirge	2	1	13	0,50–5,00	4176,40	nem aktív paleodolina, fedett karsztos utánsüllyedéses dolinákkal	
depresszióknál az összegzett ellenállások átlaga	18	7	157	–	6099,66	drawdown dolinák (recens és paleo-karsztos)	

¹ szelvények átlagából; ² ugyanaz

A Rächite területén azon szelvények ellenállás átlagai a nagyobbak, ahol a fekü még depressziókkal tagolt (10 910,67 Ohmm) és kisebb, ahol sík (10 623,25 Ohmm). Ugyanakkor a Rächite területén kívül egy völgytalp részlet (száraz völgy) térszínének ellenállásait mérjük. Itt a fekün nincsenek depressziók, vannak viszont a fedőn utánsüllyedéses dolinák.

A drawdown dolinás és utánsüllyedéses dolinás területek epikarsztjai, különösen a Pádís esetében, szignifikánsan különböznek egymástól. A Nyugat-Mecski karszt esetében a $t_0 = 0,13$, míg a Pádison a $t_0 = 0,0000000043$. Előző esetben a kisebb szignifikanciának a magyarázata lehet, hogy az utánsüllyedéses terület itt a drawdown dolinák közé esik és azoktól csak néhány méterre van.

Területi összehasonlításnál jelentős különbségek vannak az egyes karsztterületek oldódásos dolináinál mérhető ellenállásában. Megállapítható, hogy a Nyugat-Mecseki karszt oldódásos dolina mentes térszíneinek az ellenállásai is meghaladják a Bakonyvidék mért ellenállásait. A legnagyobb ellenállás különbségek akkor adódnak, amikor a különböző karsztterületek oldódásos dolináinak együttes ellenállás átlagát a Bakonyvidéki együttes ellenállás átlagaival hasonlítjuk össze (6099,66 Ohmm; ill. 733 Ohmm). A dolinás térszínnek ellenállása többszöröse még azon nem drawdown dolinás térszínnekhez képest is, ahol a legmagasabb az ellenállás (Mester-Hajag Észak).

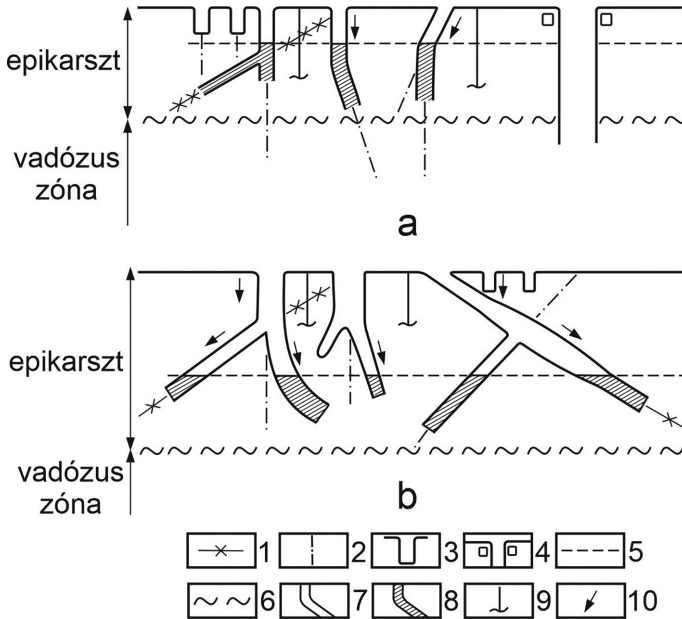
A Bakonyvidék különböző területein alacsony ellenállás átlagok mutathatók ki (átlag: 733 Ohmm), de az egyes területek ellenállásában három, négyszeres eltérések is lehetnek. Ott kisebb az ellenállás (Tési-fennsík), ahol a felszíni karsztosodás jelentősebb és ott nagyobb, ahol kevésbé (Mester-Hajag Észak).

Megvitatás

Az egyes karsztterületek fajlagos ellenállásainak különbségei az epikarszt eltérő fejlettségére utalnak, mivel ez eltérő vízzel feltöltöttséget okoz. A drawdown dolina nélküli Bakonyvidéki karszton a szelvények átlagos ellenállásai kicsik (3. ábra) és ebből következik, hogy az itteni karsztterületek átlagos ellenállása is kicsi (733 Ohmm, 2. táblázat). A drawdown dolinás karszton a szelvények átlagos ellenállásai nagyok és emiatt az ilyen karsztterületek ellenállása nagyobb (5 958,12 Ohmm), mint a Bakonyvidék vizsgált területeinek az ellenállása. Az értéke függ attól, hogy a mérés a csapadékhulláshoz képest mikor történt, mennyire víztartó a fedő és a felszínen van-e vízfolyás. Ez utóbbira jó példa a Pádís egyik karsztos részlete, ahol az állandó vízfolyások elszívárgó vizei juthatnak az epikarsztba lecsökkentve ezáltal ott az ellenállást. (A Tăul Vărășoiaa tóhoz közeli víznyelés depresszióban az átlagos fajlagos ellenállás egyik szelvényénél 1042 Ohmm volt, míg a vízfolyás nélküli depressziókban ennek több, mint tízszerese is előfordult.) Az ellenállásra hatással van a fedő minősége is. A Tábla-völgy területén (de a többi Bakonyvidéki karsztterületen is) és környékén a fedő vastag és agyagos, vagy magas agyagtartalmú. Ez jó víztározást és az epikarsztnak jó vízutánpótlást tesz lehetővé. A Pádison jelentős, de a glaciokarsztokon is, a fedőben megjelenő kőzettörmelék, ami miatt az epikarsztnak nincs folyamatos vízutánpótlása és emiatt a piezometrikus szint alacsonyabb helyzetben lehet a nem csapadékos időszakban. Ugyanazon a helyen az epikarszt fejlődik is (nő az üregesedés) és ez ugyancsak hatással van a fajlagos ellenállásra.

Általában nagy az ellenállás, ha a piezometrikus felszín mélyebben van, mivel a mérés több száraz üregre terjed ki. Ha a piezometrikus felszín magasabban van, a vizes rész ellenállásának mérése történik, ami kisebb ellenállást eredményez a mérés során (5. ábra). Miután a VESZ mérések legfeljebb 10-11 m-ig hatoltak le a fekübe, az ellenállások a fekü felszintől maximum 10-11 m mélységig nyújtanak információt az epikarsztról. Az epi-

karsztban lévő azonos vízmennyiségnél a piezometrikus szint magassága eltérő lehet: ha az epikarsztban nagyobb az üregtérfogat (több üreg van és ezek nagyobbak) ugyanazon tározott vízmennyiség szintje alacsonyabb és így a piezometrikus szint is alacsonyabb lesz. Ezek a helyek a drawdown dolináknál fordulnak elő. A Nyugat-Mecseki karszton és a Pádison a drawdown dolinákban nagyobb az átlagos ellenállás, mint azokon kívül. Sőt a Ráchte depressziójának a területén, ahol a fekűn kisebb depressziók vannak a nagyobb ellenállások jelzik itt a piezometrikus szint mélyebb helyzetét, mint ott, ahol a fekű sík és az ellenállások kisebbek.



5. ábra Fekű ellenállások nagysága és a piezometrikus felszín helyzete közötti kapcsolat
 a. az ellenállás kicsi, b. az ellenállás nagy

Jelmagyarázat: 1. réteglap, 2. törés, 3. hasadékkarr, 4. akna, 5. piezometrikus szint, 6. telítődési szint, 7. üreg,
 8. vízzel telt üregrész, 9. VESZ mérés behatolása, 10. víz bepótlás

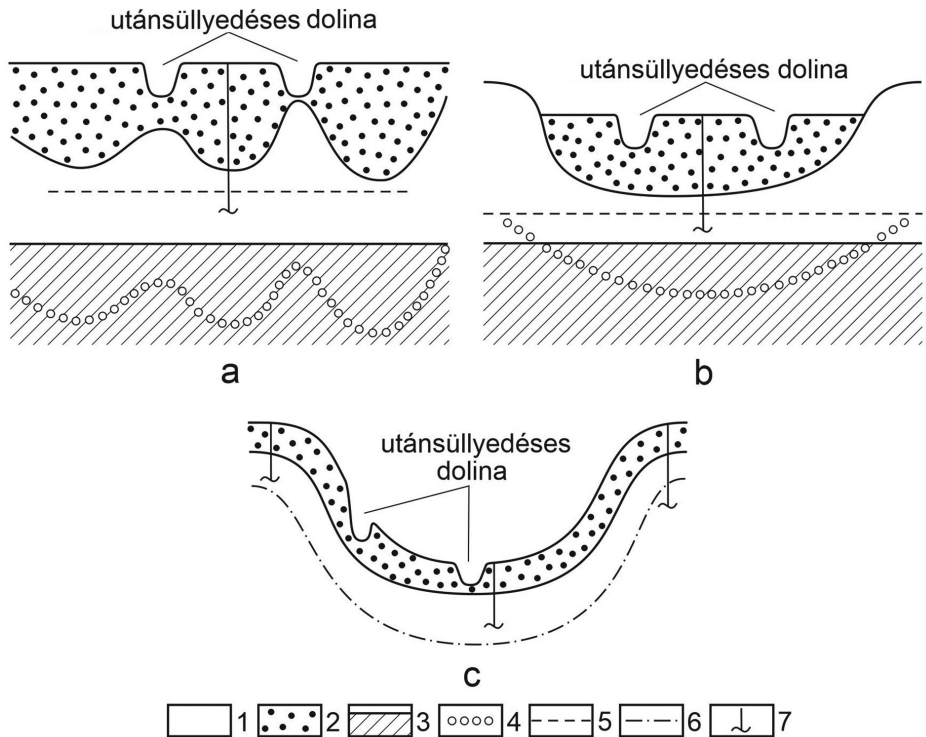
Figure 5 Relation between the resistivity values of the bedrock and the position of the piezometric surface,
 a. the resistivity is low, b. the resistivity is high

Legend: 1. sheet, 2. fault, 3. grikes, 4. shaft, 5. piezometric level, 6. saturation level, 7. hole, 8. cavity with water,
 9. penetration of the VES measurement, 10. additional water infiltration

Éppen ezért a jobban karsztosodott nagy átlagos ellenállású karsztokon (Pádis, Aggteleki-karszt, Nyugat-Mecsek), ahol sok drawdown dolina van, az epikarszt fejlettebb, üregesedettebb és a piezometrikus szint alacsonyabb és tagoltabb. A kevésbé karsztosodott karszton, mint a Dunántúli-középhegység, ahol nincsenek drawdown dolinák és az átlagos ellenállás a három Bakonyi részterület adatai szerint kicsi, az epikarszt fejletlenebb és ezért a piezometrikus szint magasabb helyzetű és kevésbé tagolt. (A tagoltság azonban az utánsüllyedéses dolináknál némileg megnőhet, amelyeknél a felszínről víz-bevezetés történik.)

A Bakonyvidéken az Eleven-Förtési dolinacsoportot hordozó forma oldódásos depresszió. Ennek ellenére itt alacsony ellenállások mutathatók ki (611 Ohmm). Ez visszavezethető a terület vízben gazdagságára, amit a területén kialakult völgy is bizonyít, a vastag agyagos összletekre, amelyek jó víztartók. Miután a hordozó depresszió belsejében nem

nagyobb az ellenállás a peremekhez képest, mint az a Nyugat-Mecseki drawdown dolinánál tapasztalható, a piezometrikus felszín nem besüllyedt, mert a hordozó depresszió nem aktív paleokarsztos forma. Ezt bizonyítja az is, hogy a fekü kisebb depressziókkal tagolt, amelyek a hordozó depresszió kialakulása után, annak talpán alakultak ki. Ezért az itt lévő piezometrikus szint nem az egykori, aktív depresszió piezometrikus szintje, hanem egy fiatalabb, és így egy magasabb helyzetű epikarsztot képvisel. A hordozó depresszió epikarsztja valószínűleg kitöltődött a bemosott fedővel és a VESZ mérések behatolása alatt helyezkedik el. Ez a folyamat bekövetkezhet teljesen kitöltött és eltemetett fekü depresszióknál. Ilyenek előfordulnak a VESZ mérések tanúsága szerint itt is, mivel a hordozó depresszió feküje, mint említettük kisebb, eltemetett depressziókkal tagolt (6b. ábra) de pl. a Tési fennsík on is (3, 6a. ábrák). Ha a dolinát csak vékonyan béleli ki a fedő, mint a Nyugat-Mecseki karszton az epikarszt nem töltődik ki (kevés anyag mosódik be), így aktív marad (4, 6c. ábrák). Ekkor a hordozó dolina is aktív lehet.



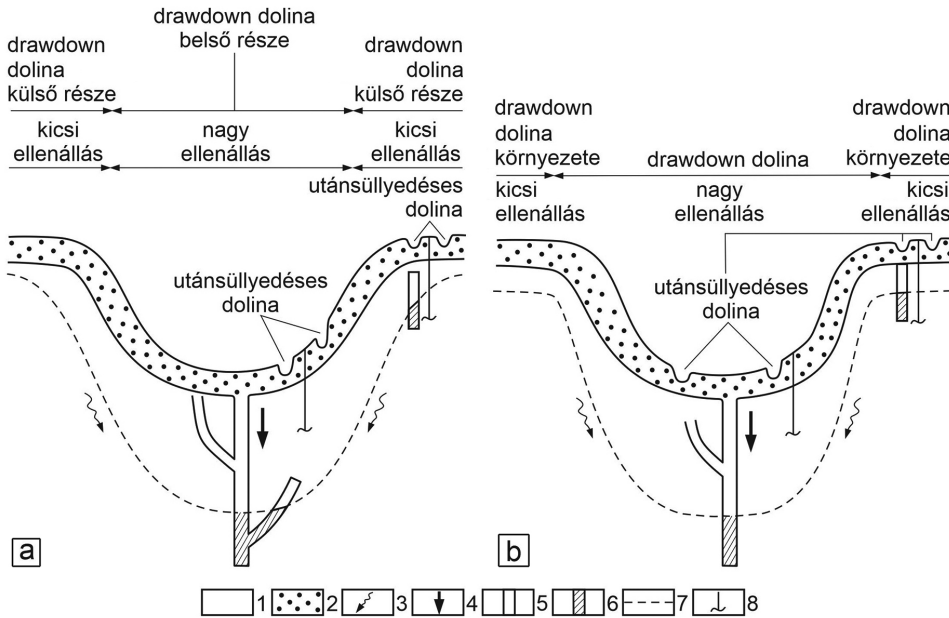
6. ábra A fekü depresszióinak eltérő mértékű feltöltődésével kialakult utánsüllyedéses dolinák, valamint a piezometrikus felszín mintázata

Jelmagyarázat: a. a fekü depresszió: kitöltött és eltemetett, b. a fekü depresszió erőteljesen feltöltött fedővel, c. a depresszió fedővel vékonyan kibélelt (a peremeken különböző ellenállások lehetnek attól függően, hogy a behatolás elérte-e a piezometrikus szintet), 1. fekükőzet, 2. fedő, 3. kitöltött epikarsztos üregek, 4. egykori piezometrikus felszín, 5. jelenlegi piezometrikus felszín, 6. egykori és jelenlegi piezometrikus felszín, 7. VESZ mérés behatolása

Figure 6 Subsidence dolines that developed by the infilling of the bedrock depressions in a different degree, respective the piezometric surface pattern

Legend: a. depression of the bedrock: filled and buried, b. depression of the bedrock intensively filled with superficial deposits, c. depression of the bedrock slightly filled (on the rim different specific resistivity can appear if the piezometric level was reached by the measurement), 1. bedrock, 2. superficial deposit, 3. filled epikarsitic cavity, 4. formerly piezometric level, 5. actual piezometric level, 6. formal- and actual piezometric levels, 7. penetration of the VESZ measurement

A Nyugat-Mecseki karszton a drawdown dolinák alatti nagy ellenállás nem csak a piezometrikus felszín besüllyedt helyzetét mutatja, hanem a dolinák peremi részén a kisebb fajlagos ellenállásokat, ami két okra is visszavezethető. Az egyik, hogy a peremen a piezometrikus felszín kevésbé süllyedt, mint a dolina belsejében (7a. ábra), ahol a nagyobb ellenállás a piezometrikus felszín nagyobb mértékű süllyedésére utal, mint a peremeken. Ez összhangban van a drawdown belsejében a gyorsuló víz- és oldott anyag elvezetéssel. Ez arra is utal, hogy a piezometrikus felszín nagyobb mértékben süllyedt, mint a fekvő felszíne. (Tehát az epikarsztból itt több anyag távozik, mint a fekvő felszínéről.) A másik lehetséges ok, hogy a kisebb ellenállású helyek nem a dolina peremét reprezentálják, hanem a dolinán kívüli térszínt (7b. ábra).



7. ábra Drawdown dolinánál a különböző nagyságú ellenállások lehetséges okai

Jelmagyarázat: a. a kicsi ellenállású rész a dolina peremi része, ahol a piezometrikus felszín kevésbé süllyedt, b. a kicsi ellenállású rész a dolinán kívüli területre esik, 1. karstos kőzet, 2. fedő (löss), 3. vízmozgás az epikarsztban, 4. vízmozgás az epikarszt járatában, 5. járat, 6. vízzel kitöltött járat, 7. piezometrikus szint, 8. VESZ mérés behatolása

Figure 7 The possible reasons for different magnitudes of resistivity in drawdown dolines

Legend: a. the part with low resistivity is the peripheral part of the doline, where the piezometric surface is less subsided, b. the small resistivity part is located in the outside area of the doline, 1. karstic rock, 2. covering loess/superficial deposit (loess), 3. water flow in the epikarst, 4. water flow in the channels/galleries of the epikarst, 5. gallery, 6. gallery filled with water, piezometric level, 8. penetration of the VESZ measurement

A Totes Gebirge jégerózióval átalakított drawdown dolinájánál a fajlagos ellenállások nagyok, de a dolina belsejében nem nagyobbak, mint a peremeken (2. táblázat). Ezért a piezometrikus felszínen nincs bemélyedés, ami arra utal, hogy ez a hordozó dolina már nem aktív.

A Bakonyvidék vizsgálati területein az utánsüllyedékes dolinák környezetében az ellenállások, mint említettük kicsik, ami arra utal, hogy a VESZ behatolások a piezometrikus felszín alá hatoltak (5a. ábra). Ezért a piezometrikus felszín sem lokálisan, sem kiterjedtebben nincs mélyebben, mint a VESZ mérések behatolásai. Ez arra utal, hogy az epikarszt kevésbé üregesedett (emiat kisebb az esélye a járatok összekapcsolódásának is)

és kevésbé vastag. Ez gátolja a vízvezetés felgyorsulását és így a felszínen lokális mélyedés kialakulását, és egyben a piezometrikus felszín lokális besüllyedését is. Az epikarszt fenti sajátosságai nem kedveznek az oldódásos dolinák kialakulásának.

A Bakonyvidéken gyakoriak az aknák, pl. a Tési-fennsíkon 46 db található (VERESS M. 2018). Ezeknél azonban szemben a dolinás karsztokkal, a fekül nincs depresszió, a mélyedés (az utánsüllyedéses dolina) a fedőben van (3. ábra). Az akna felső, felszínhez közeli része viszont omlásos. A draw down dolinás akna kialakulása vakakna beomlásával történik. A vakakna kialakulása arra vezethető vissza, hogy a felszíni karr hasadékokba bemosódó fedő néhány m-ig bevonja a falakat (a fedőn utánsüllyedéses dolina képződik a bemosódás során), a hasadék falak összeoldódására csak az üledék bevonat alatti aknaszakaszon lehetőség (VERESS M. 2016). A vakakna felett a piezometrikus felszín nem süllyed be, mert felette a vízvezetés ugyanakkora sebességű, mint máshol (sőt a kitöltődés miatt kisebb). A felnyíló akna az epikarsztot részekre különíti. A piezometrikus felszínen az aknáknál nem jönnek létre bemélyedések, tehát a drawdown dolinák sem fejlődhetnek ki, hanem utánsüllyedéses dolinák. Drawdown dolinák a hegység nem fedős talajos karsztjain sem alakulhattak ki, hiszen korábban ezek is fedettek voltak. A fedőüledék késői lepusztulása miatt az epikarszt e helyeken még kezdetlegesebb állapotban van. A piezometrikus felszínen valószínűleg még nincsenek lokális bemélyedések, járat összekapcsolódások a rövid idejű kitaraktság miatt.

Végül megemlítjük, hogy point recharge dolinák sem alakulhatnak ki a kis területű rögök gyengén fejlett vízfolyás- és völgyhálózatá miatt, összhangban a korábbi kutatásokkal (LEÉL-ŐSSY S. 1959, HEVESI A. 1991b), és inception dolinák sem. Ugyanis, ha van is betelepült vízzáró (pl. a kréta mészkőből felépült sasbérceken), a kicsi kiterjedésű rögökről kevés víz juthat be a karsztba.

Következtetések

A fekül fajlagos ellenállásaiból a piezometrikus felszín helyzetére és az epikarszt állapotára lehet következtetni. Az epikarsztnál a kőzet lehet kicsi, vagy nagy fajlagos ellenállású. A kicsi ellenállások a vizsgált területeken gyenge, a nagy ellenállások erőteljes karsztosodást reprezentálnak. Kicsi ellenállás akkor fordul elő, ha a piezometrikus felszín magas helyzetű, vagy vizes üledékek mosódnak be az epikarsztba. Magas helyzetet okoz az is, ha az epikarszt a várhatónál több vizet kap (esőzés, felszíni vízfolyás). A piezometrikus felszín magas helyzete fejletlen, fiatal epikarsztra utal. Ez visszavezethető a Dunántúli-középhegység késői kitarakodására.

A fiatal epikarszton nem alakulnak ki a piezometrikus felszín bemélyedései és a járatok nem kapcsolódnak össze. Ez nem kedvez az oldódásos (drawdown) dolinák kialakulásának. De az sem kedvez kialakulásuknak, hogy a dolomit elterjedése jelentős a hegységben.

UNGER ZOLTÁN
ELTE SEK BDTK Földrajzi Tanszék Szombathely
unger.zoltan@sek.elte.hu

VERESS MÁRTON
ELTE SEK BDTK Földrajzi Tanszék Szombathely
veress.marton@sek.elte.hu

IRODALOM

- AL-FARES, W. – BAKALOWICZ, M. – GUERIN, R. – DUKHAN, M. 2002: Analysis of the karst aquifer structure of the Lamalou area (Herdult, France) with ground penetraradar. – *Journal of Applied Geophysics* 51. pp. 97–106.
- BAKALOWICZ, M. – BLAVOUX, B. – MANGIN, A. 1974: Apports du traçage isotopique naturel à la connaissance du fonctionnement d'un système karstique. Teneurs en oxygène 18 de trois systèmes des Pyrénées, France. – *Journal of Hydrology*, 23. pp. 141–158.
- BAKALOWICZ, M. 2019: Epikarst. – In: WILLIAM, B. WHITE – DAVID, C. CULVER – TANJA, PIPAN (eds) *Encyclopedia of Caves* pp. 394–398.
- BLEAHU, M. 1976: Structural position of the Apesuni Mountains in the Alpine System. – *Revue Roumaine de Geologie, Geophysique et Geographie: Serie de Geologie*, v. 20. pp. 7–19.
- CSÓKÁS J. – EGRSZERGI P. – VITÁLIS GY. (1978): Geoelektromos mérések a Váci Nagyszál nyugati részén, Földtani Kutatás 11. (3-4), pp 31–35.
- DE WHELE, J. – GUTIÉRREZ, F. 2022: Karst Hydrogeology. – *Karst Hydrogeology, Geomorphology and Caves*. WILEY Blackwell pp. 260–335.
- FORD, D.C. – WILLIAMS, P.W. 2007: *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. – John Wiley & Sons, Chichester, 561 p.
- HEVESI A. 1991a: Magyarország karsztvidékeinek kialakulása és formakincse, I. rész. – *Földrajzi Közlemények* 1-2. pp. 25–35.
- HEVESI A. 1991b: Magyarország karsztvidékeinek kialakulása és formakincse, II. rész. – *Földrajzi Közlemények* CXV. 3-4. pp. 99–120.
- JAKUCS L. 1977: A magyarországi karsztok fejlődéstörténeti típusai. – *Karszt és Barlang I-II*. pp. 1–16.
- JONES, W.K. 2013: Physical Structure of the Epikarst. *Acta Carsologica* 42. 2-3. pp. 311–314. DOI: <https://doi.org/10.3986/ac.V4212-3.672>
- KERCSMÁR ZS. – SELMECZI I. – BUDAI T. – LESS Gy. – KONRÁD Gy. (2022): Geology of the Karst Terrains in Hungary – In: VERESS M. – LEÉL-ÖSSY Sz. (eds.): *Cave and Karst Systems of Hungary* DOI: 10.1007/978-3-030-92960-2-8 pp. 63–176
- LÁNG S. 1958: A Bakony geomorfológiai képe. – *Földrajzi Közlemények* 6. pp. 325–343.
- LEÉL-ÖSSY S. 1959: Magyarország karsztvidékei. – *Karszt és Barlangkutatás* pp. 79–88.
- LIPPMANN L. – KISS K. – MÓGA J. 2008: Az Abaliget-Orfűi karszt karsztos felszínformáinak vizsgálata térinformatikai módszerekkel. *Karsztfejlődés* XIII. pp. 151–166.
- MANGIN, A. 1975: Contribution a l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. – *Univ. Dijon These Doct. es. Sci.* [Annales et Speleologie, 29. 3. pp. 283–332; pp. 29(4), pp. 495–601, 1974; 30(1), pp. 21–124, 1975.]
- PLAN, L. – FILIPPONI, M. – BEHM, M. – SEEBAHER, M. – JEALTER, P. (2009): Constraints on alpine speleogenesis from cave morphology – A case study from the Eastern Totes-Gebirge (Northern Calcareous Alps, Austria, *Geomorphology* 106 (1-2), pp. 118–129.
- RENNER J. – SALÁT P. – STEGENA L. – SZABADVÁRY L. – SZEMERÉDY P. (1970): *Geofizikai kutatási módszerek III. Felszíni geofizika* – Tankönyvkiadó Budapest. 413. p.
- SAURO, U. 2012: Closed Depressions in Karst Areas – In: WHITE, W.B. – CULVER, D.C. (eds.), *Encyclopedia of Caves*, Elsevier, Amsterdam, pp. 140–155
- TELBISZ T. 2001: Új megközelítések a töbör-morfológiában az Aggteleki-karszt példáján. – *Földrajzi Közlemények* XXV. 1-2. pp. 85–108.
- VERESS M. 2009: Investigation of covered karst form development using geophysical measurements. – *Z. f. Geomorph* 53. 4. pp. 469–486.
- VERESS M. 2012: Fedőüledékes depressziók típusai és kialakulásuk. – *Földrajzi közlemények* 136 (1) pp. 2–20.
- VERESS M. 2016: *Covered Karst*. – Springer: Berlin/Heidelberg; Springer: New York, NY, USA, 536 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-7518-2>.
- VERESS M. 2018: A Bakonyvidék genetikai aknatípusai. – *Karsztfejlődés* XXIII. pp. 55–84.
- VERESS M. 2022: The surface morphology of karsts in Hungary. – In: VERESS M. – LEÉL-ÖSSY Sz. (eds), *Cave and Karst Systems of Hungary* pp. 179–247. DOI:10.1007/978-3-030-92960-2_8 pp.
- VERESS M. 2023: Rubbles Mines in the Environs Veszprém (Bakony Region, Hungary), *Mining* 3(4), pp. 579–604.
- WILLIAMS, P. W. 1983: The role of the subcutaneous zone in karst hydrology. – *J. Hydrol.* 61. p. 45–67.
- WILLIAMS, P.W. 2004: Dolines. – In: GUNN J (ed.), *Encyclopedia of Caves and Karst Science*, Fitzroy Dearborn, New York, London, pp. 304–310.
- WILLIAMS, P.W. (2008) The role of the epikarst in karst and cave hydrogeology. A review. – *International Journal of Speleology* 37. 1. pp. 1–10.